

PUB-NO: EP000075195A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: EP 75195 A1

TITLE: Method and apparatus for flow  
determination by measuring  
Doppler frequency shift of ultrasonic  
pulses.

PUBN-DATE: March 30, 1983

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

HASSLER, DIETER

COUNTRY

N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

SIEMENS AG

COUNTRY

DE

APPL-NO: EP82108275

APPL-DATE: September 8, 1982

PRIORITY-DATA: DE03137466A ( September 21, 1981)

INT-CL (IPC): G01F001/66, G01P005/00

EUR-CL (EPC): G01F001/66

US-CL-CURRENT: 73/861.18, 73/861.25

ABSTRACT:

1. A method of measuring a flow comprising particles,  
in particular for  
blood flow measurement, in accordance with the ultrasonic  
pulse Doppler method,  
wherein ultrasonic transmitting pulses are irradiated into  
a signal entry

region of an object under examination in the direction of the particles of the flowing medium, and reflected echo signals received from the particles are converted into electrical Doppler signals, wherein a measuring signal for the flow of the flowing medium is determined from the frequency difference between the transmitted and received ultrasonic pulses after a spectral analysis, and wherein the measuring signal is displayed optically and/or acoustically, characterised in that it involves the following steps : a) a simultaneous spectral analysis of the Doppler signals is carried out in at least two different frequency position (alpha, beta), where the Doppler spectra present in these frequency positions (alpha, beta) are subjected to laws of similarity, and where the spectral sector powers (M0 alpha , M0 beta and M0b1 , M0b2 , M0a ) which emanate from the particles in the signal entry region, which move in the acoustic direction by means of a specific velocity component, are supposed to be identical, b) superimposed components of the Doppler spectra (M0a ) which are not to be displayed are eliminated from the measurement by compensatory superimposition, and c) the measuring signal obtained after the compensatory superimposition is optically and/or acoustically displayed or recorded.



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer:

0 075 195  
A1

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: 82108275.7

Int. Cl.: G 01 F 1/66, G 01 P 5/00

Anmeldetag: 08.09.82

Priorität: 21.09.81 DE 3137468

Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT, Berlin  
und München Wittelsbacherplatz 2,  
D-8000 München 2 (DE)

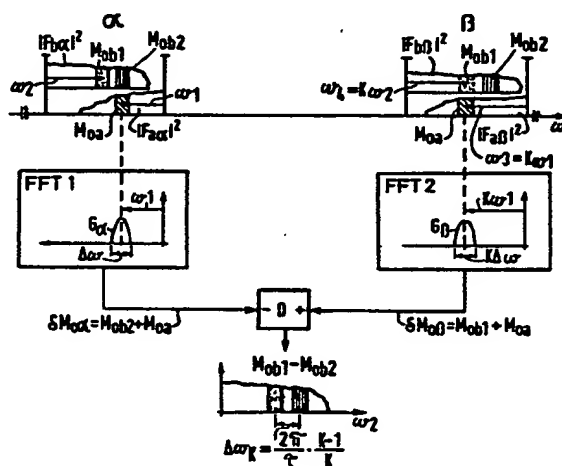
Veröffentlichungstag der Anmeldung: 30.03.83  
Patentblatt 83/13

Benannte Vertragsstaaten: AT DE FR NL

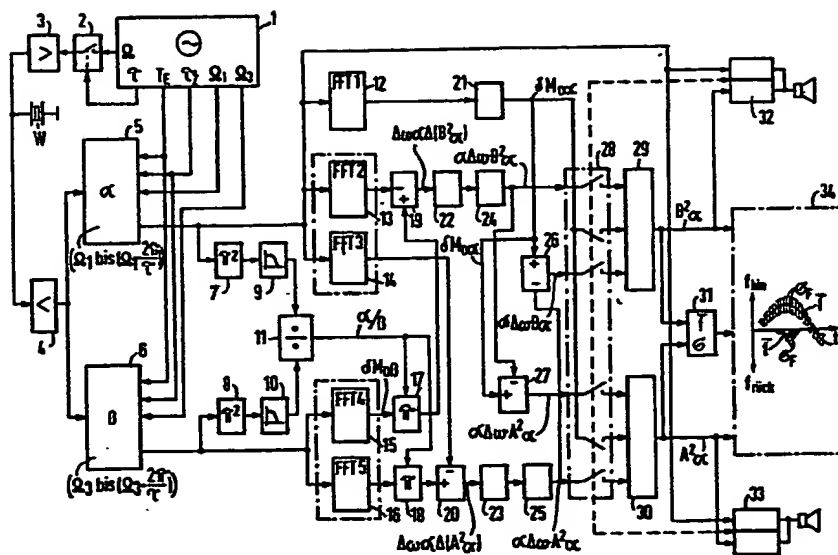
Erfinder: Hassler, Dieter, Flurweg 3, D-8521 Uttenreuth  
(DE)

Verfahren und Gerät zur Strömungsmessung nach der Ultraschall-Puls-Doppler-Methode.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und ein Gerät dieser Art, bei dem Ultraschall-Sendepulse in ein Untersuchungsobjekt in Richtung auf ein strömendes Medium abgestrahlt und die am strömenden Medium reflektierten Pulse als Echopulse empfangen werden. Aus der Frequenzverwerfung zwischen ausgesendeten und empfangenen Ultraschallpulsen wird ein Dopplersignal als ein Maß für die Strömung des Mediums ermittelt. Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren und ein Gerät dieser Art anzugeben, mit dem sich ohne Abgang von der Puls-Doppler-Technik die Bereichsgrenze der Strömungsmessung erhöhen läßt. Dieses Ziel wird erfindungsgemäß wie folgt erreicht: Es wird eine gleichzeitige Spektralanalyse der anfallenden Dopplersignale in wenigstens zwei unterschiedlichen, aber ähnlichen Frequenzlagen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) vorgenommen an solchen Stellen, an denen die Ausschnittsleistungen ( $M_{\alpha\alpha}$ ,  $M_{\alpha\beta}$  bzw.  $M_{\beta\beta}$ ,  $M_{\beta\alpha}$ ,  $M_{\alpha\alpha}$ ) gleich sind; durch kompensatorische Überlagerung werden solche überlagerten Anteile der Dopplerspektren ( $M_{\alpha\alpha}$ ), die nicht angezeigt oder als überlagertes Bestandteil separat angezeigt werden sollen, aus der Messung eliminiert; das Meßergebnis wird einem Anzeigergerät (32, 33; 34) zur optischen und/oder akustischen Anzeige bzw. Aufzeichnung zugeleitet.



(Fortsetzung nächste Seite)



0075195

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Berlin und München

Unser Zeichen  
VPA 81 P 5076 E

5 Verfahren und Gerät zur Strömungsmessung nach der Ultraschall-Puls-Doppler-Methode

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Strömungsmessung nach der Ultraschall-Puls-Doppler-Methode  
10 gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie auf ein Gerät zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Verfahren und Geräte dieser Art gewinnen insbesondere für die Kardiologie immer mehr Bedeutung. Hier soll aus  
15 einem kleinen Signaleinzugsgebiet in wählbarer Körpertiefe die Blutströmung detektiert werden. Die Brauchbarkeit der Ultraschall-Doppler-Technik für die Kardiologie ist allerdings immer noch recht eingeschränkt; aus energetischen Gründen können nämlich die Parameter (z.B.  
20 Sendefrequenz u.a.) nicht so gewählt werden, daß im vorgegebenen Tiefenbereich auch noch höchste Geschwindigkeiten der Strömung noch eindeutig erfaßt werden können. Erfahrungsgemäß fehlt etwa der Faktor zwei für die Bereichsgrenze der Strömungsgeschwindigkeit. Es sind zwar  
25 bereits theoretische Lösungen des Problems bekannt; diese Lösungen arbeiten mit kodierten Dauerschallsignalen in Verbindung mit einer Korrelationstechnik. Dies erfordert aber das Abgehen von der bekannten Pulstechnik, was nachteilig ist, weil sich der technische Aufwand erhöht und weil eine Verbindung der Doppler-Technik mit  
30 der B-Scan-Technik erschwert wird.

Aufgabe vorliegender Erfindung ist es, ein Verfahren und ein Gerät der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem  
35 sich ohne Abgang von der Puls-Doppler-Technik die Bereichsgrenze der Strömungsmessung erhöhen läßt.

Kue 5 Kof / 12.08.1981

**BAD ORIGINAL**

Die Aufgabe wird mit einem Verfahren gelöst, das die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 aufgezählten Verfahrensschritte umfaßt.

- 5 Ein Gerät zur Durchführung dieses Verfahrens ist durch die Merkmale des Anspruchs 13 gekennzeichnet.

Die Erfindung geht von der folgenden Erkenntnis aus: Dopplerspektren ein und desselben Grundgeschehens  
10 (Strömung im Signaleinzugsbereich) finden sich in einem Pulssystem, das ein kammartiges Spektrum aufweist, vielfach in ähnlicher Form nebeneinander. Bei Bereichsüberschreitung des konventionellen Systems überlagern sich die Dopplerspektren von Vor- und Rückströmung oder,  
15 falls keine Gegenströmung vorliegt, die Teilspektren der verbleibenden Strömungskomponenten, so daß ein kaum auswertbares Gemisch entsteht. Die Überlagerung oder Überlappung der einzelnen Spektren fällt aber in unterschiedlichen Frequenzlagen des Kammspektrums unterschiedlich aus. Diese Tatsache nutzt die Erfindung aus.  
20 Wird also, wie die Erfindung vorschlägt, eine gleichzeitige Spektralanalyse der überlagerten Dopplersignale in zwei Frequenzlagen vorgenommen, so ergibt sich ein Meßergebnis, das mittels Kompensationsprinzip zur Trennung ausgenutzt werden kann, sofern die Ähnlichkeitsgesetze beachtet werden. Die Erfindung führt also zu einer Trennung von Hin- und Rückfluß bei noch vertretbaren Fehlern durch endliche Meßzeiten. Die Bereichsgrenze der Strömungsmessung wird dabei beträchtlich erhöht (etwa um den Faktor  $5/3 = 1,67$ ), wobei von der  
30 Pulstechnik nicht abgegangen zu werden braucht.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung und in Verbindung  
35 mit den Unteransprüchen.

Es zeigen:

Figur 1 ein Diagramm, das für zwei unterschiedliche Frequenzlagen die Ähnlichkeitsgesetze zwischen den Leistungsspektren einer Strömungsrichtung veranschaulicht,

Figur 2 das Prinzip einer kompensatorischen Mehrbereichs-Frequenzanalyse für überlagerten Hin- und Rückfluß,

Figur 3 das Prinzip der Figur 2, angewendet auf die Randbereiche der Dopplerspektren,

Figur 4 das Prinzip der Aufaddition des isolierten Spektrums,

Figur 5 ein Ausführungsbeispiel für eine kompensatorische Mehrbereichs-Frequenzanalyse im Prinzipschaltbild,

Figur 6 einen Signal-Synthetisierer zur Erzeugung eines künstlichen Dopplersignals mit der Leistungsdichtefunktion entsprechend dem Frequenzanalyseergebnis bei überlagerten Spektren.

In der Figur 1 sind zwei Dopplerspektren in zwei unterschiedlichen Frequenzlagen  $\alpha$  und  $\beta$  ausschnittsvergrößert dargestellt. Die unterschiedliche Lage im Spektrum entspricht der gleichzeitigen Untersuchung des Signaleinzugsgebiets mit verschiedenen Sendekreisfrequenzen  $\Omega_1$  und  $\Omega_3$ . Die gepunkteten Rechteckflächen repräsentieren gleiche Leistungen  $M_{0\alpha}$  und  $M_{0\beta}$ . Sie sind in den Mittenfrequenzen  $\omega_1$  bzw.  $K \cdot \omega_1$  und in ihren Bandbreiten  $\Delta\omega$  bzw.  $K \cdot \Delta\omega$  entsprechend dem Beobachtungsfaktor  $K = \frac{\Omega_3}{\Omega_1}$  verändert. Dasselbe gilt für die normier-

ten Mittenfrequenzen  $\frac{\omega_1}{\Omega_1}$  bzw.  $\frac{K \cdot \omega_1}{\Omega_3}$  und für die normierten Bandbreiten  $\frac{\Delta \omega}{\Omega_1}$  bzw.  $\frac{K \cdot \Delta \omega}{\Omega_3}$ . Eine umge-

- 5 kehrt proportionale Beziehung ergibt sich zwischen den Leistungsdichten  $A^2$  bzw.  $\frac{A^2}{K}$  der Leistungsspektren, so daß die Leistungs- bzw. Flächengleichheit  $M_{0\alpha} = M_{0\beta}$  eingehalten wird. Damit sind durch Figur 1 die für beide Leistungsspektren gültigen Ähnlichkeitsgesetze definiert. Ähnliche Leistungsspektren haben jedoch nicht gleichzeitig auch identische Zeitfunktionen  $f_1(t)$  bzw.  $f_3(t)$  des Dopplersignals zur Folge. Diese sind im allgemeinen unterschiedlich.
- 10 Die Figur 2 zeigt in Anwendung der in der Figur 1 veranschaulichten Ähnlichkeitsgesetze das Prinzip einer kompensatorischen Mehrbereichs-Frequenzanalyse für überlagerten Hin- und Rückfluß. In der Figur 2 sind im Diagramm oben jeweils wieder in den beiden Frequenz-
- 15 lagen  $\alpha$  und  $\beta$  je zwei sich überlagernde Spektren dargestellt. Das Spektrum  $|F_{b\alpha}|^2$  aus der Lage  $\alpha$  und das Spektrum  $|F_{b\beta}|^2$  aus der Lage  $\beta$  stammen dabei vom Hinfluß. Die Spektren  $|F_{a\alpha}|^2$  der Lage  $\alpha$  und  $|F_{a\beta}|^2$  der Lage  $\beta$  resultieren entsprechend aus dem Rückfluß. Mit-
- 20 tels zwei FFT-Spektralanalysatoren FFT1 und FFT2 mit den Filterfunktionen  $G_\alpha$  und  $G_\beta$  der variablen Mittenfrequenz  $\omega_1$ ,  $K \cdot \omega_1$  und Durchlaßbandbreiten  $\Delta \omega$  und  $K \cdot \Delta \omega$  werden in den beiden Frequenzlagen  $\alpha$  und  $\beta$  aus den Spektren des Hin- und Rückflusses unter Berücksichtigung der Ähnlichkeitsgesetze die Summenleistungen bzw. Ausschnittsmomente 0. Ordnung herausgefiltert. Im Falle des Spektralanalysators FFT1 erhält man die Ausschnittsleistung  $\oint M_{0\alpha} = M_{0b2} + M_{0a}$ . Der FFT2 liefert die Ausschnittsleistung  $\oint M_{0\beta} = M_{0b1} + M_{0a}$ . Nach den
- 25 vorstehend abgehandelten Ähnlichkeitsgesetzen sind die Leistungsausschnitte  $M_{0b1}$ ,  $M_{0b2}$  und  $M_{0a}$  für beide Fre-



quenzlagen  $\alpha$  und  $\beta$  gleich, was im Diagramm in der Figur 2 oben dargestellt ist. Werden also die Ausgangssignale der beiden Spektralanalysatoren FFT1 und FFT2 voneinander subtrahiert (in einem Subtrahierglied D),

5 so erhält man als Ergebnis die Leistungsdifferenz  $M_{ob1} - M_{ob2}$  aus dem Spektrum des Hinflusses. Der Leistungsanteil aus dem Rückfluß ist hingegen eliminiert. Die Anteile der erhaltenen Leistungsdifferenz liegen, bezogen auf  $\omega_2$ , im Frequenzabstand  $\Delta \omega_K = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{K-1}{K}$  auseinander, wie in der Figur 2 unten angedeutet ist.

Die kompensatorische Mehrbereichs-Frequenzanalyse erlaubt also die Unterdrückung einer Flußrichtung. Das 15 Spektrum der nicht unterdrückten Flußrichtung, d.h. das isolierte Spektrum, erhält man in einfacher Weise unter Anwendung des Prinzips der Figur 4 durch Addition nacheinander in Schritten I, II etc. erhaltener Werte, beginnend mit dem Schritt I vom Rand der 20 Spektren, bei sich schrittweise änderndem  $\omega_1$  bzw.  $K \cdot \omega_1$  der Spektralanalysatoren FFT1 und FFT2.

Die Randwertanalyse ist in der Figur 3 dargestellt. In diesem Falle liefert der Spektralanalysator FFT1 im 25 Schritt I an seinem Ausgang lediglich einen Leistungsanteil  $M_{oa}$ , da ja das Spektrum  $|F_{b\alpha}|^2$  in diesem Frequenzrandbereich bei der für den Hinfluß maximal erlaubten Bandbreite Null ist. Der Spektralanalysator FFT2 liefert hingegen im Randbereich in der Frequenzlage  $K \omega_1$  unter Berücksichtigung der Ähnlichkeitsgesetze das Ergebnis  $M_{ob1} + M_{oa}$ . Nach Differenzbildung im Differenzbildner D ergibt sich die Leistung  $M_{ob1}$ . 30 Beginnend von dieser Randleistung des Randanalysier-schrittes I können nun entsprechend dem Diagramm der 35 Figur 4 die sich ergebende Differenzleistung  $M_{ob1} - M_{ob2}$  der Figur 2 bzw. bei Durchführung entsprechend

weiterer Analysenschritte II, III, IV etc. weitere Differenzleistungen aufaddiert werden. Es ergibt sich dann das in der Figur 4 dargestellte isolierte Leistungsspektrum  $|F_b|^2$  des Hinflusses. Das Spektrum des Rückflusses  $|F_a|^2$  kann in ähnlicher Weise, beginnend vom linksseitigen Randwert, und durch entsprechende Differenzbildung mit den Leistungswerten des Hinflußspektrums gemessen werden.

- 10 Der vorstehend beschriebene Sachverhalt wird im nachfolgenden durch eine mathematische Leistungsbetrachtung noch mehr vertieft:

15 Entsprechend den Figuren 2 und 3 können in den unterschiedlichen Frequenzlagen  $\alpha$  und  $\beta$  also durch einen Einseitenbandempfänger die folgenden Spektren empfangen werden:

niedrige Frequenzlage  $(F_{a\alpha}(\omega_1) + F_{b\alpha}(\omega_2))(1)$

20 höhere Frequenzlage  $(F_{a\beta}(\omega_3) + F_{b\beta}(\omega_4))(2)$

Diese überlagerten Spektren werden nun einer Filterung in Kombination mit einer Leistungsmessung unterworfen.

25 Die Filterfunktionen  $G_\alpha$  und  $G_\beta$  sind so gewählt, daß gemäß den vorausgesetzten Ähnlichkeitsbedingungen sich entsprechende Spektralanteile in  $F_{a\alpha}$  und  $F_{a\beta}$  gleichermaßen erfaßt werden. Man stelle sich also vor, durch Einseitenbandtechnik liegen die beiden Frequenzlagen  $\alpha$  und  $\beta$  z.B. mit Bezug auf  $\Omega_1$  bzw.  $\Omega_3$  demoduliert gleichzeitig vor. Zwei Spektralanalysatoren bilden die Leistungen aus der Bandbreite  $\Delta\omega$  bei der Frequenz  $\omega_1$  bzw.  $K \cdot \Delta\omega$  bei der Frequenz  $K \cdot \omega_1$ . Man erhält dann die Leistungen bzw. Ausschnittsmomente 0. Ordnung mit

35 den Empfangsempfindlichkeiten  $\alpha$  und  $\beta$  für diese Bereiche:

$$\delta M_{0\alpha} = \alpha \int_0^{\frac{2\pi}{T}} |F_{a\alpha}(\omega_1) \cdot G_\alpha|^2 d\omega_1 +$$

(3)

$$\alpha \int_0^{\frac{2\pi}{T}} |F_{b\alpha}(\omega_2) \cdot G_\alpha|^2 d\omega_2$$

$$\delta M_{0\beta} = \beta \int_0^{\frac{2\pi}{T}} |F_{a\beta}(\omega_3) \cdot G_\beta|^2 d\omega_3 +$$

(4)

$$\beta \int_0^{\frac{2\pi}{T}} |F_{b\beta}(\omega_4) \cdot G_\beta|^2 d\omega_4$$

20 Mit  $|G_\alpha| = 1$  bzw.  $|G_\beta| = 1$  im Durchlaßbereich ergibt sich dann bei kleinem  $\Delta\omega$  und  $|F_{a\alpha}(\omega_1) \cdot G_\alpha|^2 =$

$$A_\alpha^2, |F_{b\alpha}(\omega_2) \cdot G_\alpha|^2 = B_\alpha^2, |F_{a\beta}(\omega_3) \cdot$$

$$25 \quad |G_\beta|^2 = A_\beta^2, |F_{b\beta}(\omega_4) \cdot G_\beta|^2 = B_\beta^2:$$

$$\delta M_{0\alpha} = \alpha A_\alpha^2; (\omega_1) \Delta\omega + \alpha B_\alpha^2; (\omega_2) \Delta\omega \quad (5)$$

30 bzw. mit

$$A_\beta^2; (K\omega_1) = \frac{A_\alpha^2; (\omega_1)}{K} \quad (6)$$

$$35 \quad \delta M_{0\beta} = \beta A_\alpha^2; (\omega_1) \Delta\omega + \beta B_\beta^2; \left(\frac{2\pi}{T} - K\omega_1\right) \cdot K \Delta\omega \quad (7)$$

Aus den Gleichungen 5 und 7 ergibt sich dann mit folgender Zwischenrechnung

$$\delta M_{0\alpha} - \frac{\alpha}{\beta} \delta M_{0\beta} = \alpha \Delta \omega K \left( \frac{1}{K} B_{\alpha}^2(\omega_2) - B_{\beta}^2; \left( \frac{2\pi}{T} - K \omega_1 \right) \right) \quad (8)$$

wegen

$$B_{\beta}^2(K \omega_2) = \frac{1}{K} B_{\alpha}^2(\omega_2) \quad (9)$$

$$\delta M_{0\alpha} - \frac{\alpha}{\beta} \delta M_{0\beta} = \alpha \Delta \omega K \left( B_{\beta}^2; (K \omega_2) - B_{\beta}^2; \left( \frac{2\pi}{T} - K \omega_1 \right) \right) = \Delta \omega K \alpha \Delta B_{\beta}^2 \quad (10)$$

oder

$$\delta M_{0\alpha} - \frac{\alpha}{\beta} \delta M_{0\beta} = \alpha \Delta \omega \left( B_{\alpha}^2(\omega_2) - B_{\alpha}^2; \left( \frac{2\pi}{T} - \omega_1 \right) \right) = \Delta \omega \alpha \Delta B_{\alpha}^2 \quad (11)$$

Diese Gleichungen sagen aus, daß die Differenz der Leistungen gemessen werden kann, welche in den Einzelspektren  $F_{b\alpha}$  bzw.  $F_{b\beta}$  an den Stellen  $\omega_2$  bzw.  $K \omega_2$  und

$\left( \frac{2\pi}{T} - K \omega_1 \right)$  bzw.  $\left( \frac{2\pi}{K T} - \omega_1 \right)$  mit der Bandbreite  $\Delta \omega$  bzw.  $K \Delta \omega$  ausgefiltert werden. Die Differenz der Filtermittelfrequenzen ist in der Frequenzlage  $\beta$ :

$$\Delta \omega_{K\beta} = K \omega_2 - \left( \frac{2\pi}{T} - K \omega_1 \right) = K \left( \frac{2\pi}{T} - \omega_1 \right) - \left( \frac{2\pi}{T} - K \omega_1 \right) \quad (12)$$

$$\Delta \omega_{K\beta} = \frac{2\pi}{T} (K - 1) \quad (13)$$

Bei einer zentralen Sendefrequenz von 3,7 MHz, einer Pulswiederholfrequenz von  $\frac{1}{\tau} = 15$  kHz und einem Abstand zwischen den Frequenzlagen  $\alpha$  und  $\beta$  von 660 kHz ergibt sich dann z.B.

$$\Delta f_{K\beta} = 2,97 \approx 3 \text{ kHz} \quad (14)$$

Bezogen auf das Frequenzband  $\alpha$  gilt

$$\Delta f_{K\alpha} = \frac{\Delta f_{K\beta}}{K} = 2,479 \approx 2,5 \text{ kHz} \quad (15)$$

Man kann dies als eine Frequenzanalyse von  $F_b \alpha$  mit der Bandbreite  $\Delta \omega$  auffassen, bei der die Amplituden des Leistungsspektrums an zwei Stellen im Spektrum herausgegriffen und die Differenz gebildet wurde.

Die Filtermittenfrequenzen beider Stellen haben konstanten Abstand, der von den Systemparametern  $\tau$  und  $K$  abhängt (Gleichungen 12 und 13). Die Filtermittenfrequenzen sind

$$\text{für } F_b \beta : \text{ oben: } K \omega_2 = K \left( \frac{2\pi}{\tau} - \omega_1 \right) \quad (16)$$

$$\text{unten: } \frac{2\pi}{\tau} - K \omega_1 = - \frac{2\pi}{\tau} (K - 1) + K \omega_2 = K \omega_2 - \Delta \omega_{K\beta} \quad (17)$$

$$\text{für } F_b \alpha : \text{ oben: } \omega_2 = \frac{2\pi}{\tau} - \omega_1 \quad (18)$$

$$\text{unten: } \frac{2\pi}{K\tau} - \omega_1 = - \frac{2\pi}{\tau} \frac{K-1}{K} + \omega_2 = \omega_2 - \Delta \omega_{K\alpha} \quad (19)$$

Die Differenzfrequenz  $\Delta f_{K\alpha}$  ist genau so groß wie die Frequenzlücke zwischen der maximalen Frequenz von  $F_{b\alpha}$  und  $1/\tau$ , die bestehen bleiben muß, damit  $F_{b\beta}$  nicht über die Bandbreite  $1/\tau$  wächst (siehe Figuren 2 und 3):

5

Wenn in der Frequenzlage  $\beta$  gilt

$$K \omega_2 = \frac{2\pi}{\tau} \quad (20)$$

10 dann ist die Frequenzlücke in der Lage  $\alpha$

$$\Delta f_{K\alpha} = \frac{2\pi}{\tau} - \omega_2 = \frac{2\pi}{\tau} - \frac{1}{K} \cdot \frac{2\pi}{\tau} = \frac{2\pi}{\tau} \frac{K-1}{K} = \frac{\Delta f_{K\beta}}{K} \quad (21)$$

15 Diese Tatsache kann man nutzen, um aus den Differenzwerten der Spektralanalyse auf das Spektrum selbst zu schließen:

Legt man die obere Filterstelle, bezogen auf  $F_{b\alpha}$ , in den Bereich  $\omega_1 = 0$  bis  $\Delta f_{K\alpha}$  bzw.  $\omega_2 = \frac{2\pi}{\tau} - \Delta f_{K\alpha}$  bis  $\frac{2\pi}{\tau}$ , dann wird  $|F_{b\alpha} \cdot G_{\alpha}|^2 = 0$  bzw.  $B_{\alpha}^2(\omega_2) = 0$ , wenn keine Bereichsüberschreitung vorliegt (s. Figur 3). In diesem Bereich kann also  $B_{\alpha}^2(\frac{2\pi}{K\tau} - \omega_1)$  direkt gemessen werden, und zwar an einer frei wählbaren Stelle mit einstellbarer Bandbreite je nach Filterwahl. Im Beispiel bedeutet das, bezogen auf  $F_{b\alpha}$ , daß der 2,5 kHz breite (höchstzulässige) Bereich von 10 kHz bis 12,5 kHz bzw. bezogen auf  $F_{b\beta}$  der 3 kHz breite Bereich von 12 bis 15 kHz direkt ausgemessen werden kann. Die darunterliegenden Bereiche findet man durch Aufaddition der Differenzwerte (s. Figur 4). Im Beispielfall mit  $\Delta f_{K\alpha} = 2,5$  kHz sind es vier Aufadditionen für das gesamte Spektrum.

Das Spektrum der Gegenströmung findet man nach Gleichung (5) durch eine dritte Spektralanalyse z.B. von  $M_{0\alpha}$ , wobei für gleichartig liegende Filter  $G_{\alpha}$  gilt

$$5 \quad \alpha A_{\alpha}; (\omega_1) \Delta\omega = \delta M_{0\alpha}(\omega_1) - \alpha B_{\alpha i}^2(\omega_1) \Delta\omega \quad (22)$$

Die Analysebreite  $\Delta\omega$  ist als frequenzunabhängig konstant angenommen.

- 10 Das Prinzipschaltbild zur Durchführung der kompensatorischen Mehrbereichs-Frequenzanalyse ist in der Figur 5 dargestellt. In diesem Prinzipschaltbild erzeugt ein Oszillator 1 die zentrale Sendefrequenz  $\Omega/2\pi$  (z.B. 3,7 MHz) und Hilfsfrequenzen, wie die Pulswiederhol-
- 15 quenz  $1/\tau$  (z.B. 15 kHz) und Empfangs-Oszillatorfrequenzen  $\Omega_1/2\pi$ ;  $\Omega_3/2\pi$ , sowie die Empfangstorzeit  $T_E$  (z.B. 2,7  $\mu$ s) und Zeitverzögerung  $\tau_z$  für die Tiefenlage des Signaleinzugsbereichs. In einem Sendetor 2 wird eine Zahl von Perioden der Sendefrequenz (z.B.
- 20 1 Periode) im Rhythmus  $1/\tau$  ausgeblendet und über den Sendeverstärker 3 zum elektroakustischen Wandler W geschickt.

- Das Empfangssignal gelangt über einen Empfangsverstär-
- 25 ker 4 zu zwei Einseitenbandempfängern 5 und 6. Diese empfangen ein Frequenzband der Breite  $1/\tau$  in einer tiefen Frequenzlage  $\alpha$  (z.B. unterhalb  $\Omega_1$ ) und einer hohen Frequenzlage  $\beta$  (unterhalb  $\Omega_3$ ). Die Einseitenbandempfänger können z.B. nach der Quadraturmethode ar-
- 30 beiten. Die Ausgangssignale der Empfänger sind die demodulierten Dopplersignale, welche von Vor- und Rückfluß herrührende überlagerte Spektren beinhalten können.

- Von beiden Ausgangssignalen wird in den Integratoren 7,
- 35 8, 9, 10 (Serienschaltung aus Quadriergliedern und Tief-

pässen) die jeweilige Gesamtleistung (Zeitkonstante z.B.  $1/5 \text{ Hz} = 0,2 \text{ s}$ ) und im Quotientenbildner 11 der Quotient  $\alpha/\beta$  beider Werte gebildet.

- 5 Beide Ausgangssignale werden außerdem fünf FFT-Spektralanalysatoren FFT1 bis FFT5 (Blöcke 12 bis 16) angeboten. Die Analysebandbreite für das Signal der Frequenzlage  $\alpha$  ist z.B.  $\Delta f = 125 \text{ Hz}$ . Für die Frequenzlage  $\beta$  beträgt sie  $K \Delta f = 150 \text{ Hz}$ , wobei  $K = \Omega_3 / \Omega_1 = 1,2$ .

10

- Zuerst soll das Zusammenwirken von FFT2 und FFT4 beschrieben werden: Während FFT2 die spektrale Leistung bei der Kreisfrequenz  $\Omega_1$  bildet, berechnet FFT4 diejenige bei  $K \Omega_1$ . Das Ergebnis von FFT2 wird in einem Subtrahierglied 19 von dem im Multiplizierglied 17 mit  $\alpha/\beta$  multiplizierten Ergebnis von FFT4 abgezogen. Auf diese Weise verschwindet der von  $|F_a|^2$  herrührende Teil des Spektrums und es bleibt die Differenz zweier Spektralteile von  $|F_b|^2$ , die im Abstand  $\Delta f_K$  liegen. Solange
- 15  $0 < \Omega_1 < \Delta \Omega_{K\alpha}$ , wird das Leistungsspektrum von  $F_b$  unmittelbar im Bereich I (s. Figur 4) gebildet, wenn keine unzulässigen Bereichsüberschreitungen der Bandbreiten bzw. Geschwindigkeiten vorliegen. Wenn
- 20  $\Delta \Omega_{K\alpha} < \Omega_1 < 2 \Delta \Omega_{K\alpha}$ , wird der Bereich II von  $F_b$  erfaßt und man kommt zum Analyseergebnis durch Aufaddition (Addierglied 24 mit vorgeschaltetem Speicher 22) der Werte mit dem vorher für Bereich I erhaltenen Wert. Gäbe es keine (meßzeitbedingten) Meßfehler, könnte in dieser Weise fortgefahren werden, bis das
- 25 ganze Spektrum von  $F_{b\alpha}$  analysiert ist. Kleinere (noch tolerable) Fehler erhält man, wenn die (noch fehlenden) Bereiche III, IV, V von  $F_b$  auf andere Weise berechnet werden. Die Analysatoren FFT2 und FFT4 werden also nur über die Bandbreiten  $2 \Delta f_{K\alpha}$  ( $2 \cdot 2,5 \text{ kHz}$ ) bzw.  $2 \Delta f_{K\beta}$
- 30 ( $2 \cdot 3 \text{ kHz}$ ) benötigt.



Entsprechend arbeiten die Analysatoren FFT3 und FFT5 zusammen. Sie arbeiten bei den Kreisfrequenzen  $\omega_2$  bzw.  $k \omega_2$  auch nur über die Bandbreiten  $2 \Delta f_{K\alpha}$  bzw.  $2 \Delta f_{K\beta}$  (von  $\frac{2\pi}{T} - 2 \Delta f_{K\alpha}; \beta$  bis  $\frac{2\pi}{T}$ ) und bilden nach Multiplikation im Multiplizierglied 18 und Subtraktion im Subtrahierglied 20 sowie Aufaddition der Differenzwerte im Addierglied 25 das Spektrum von  $F_{a\alpha}$  in den Bereichen IV, V. Das Spektrum von  $F_{b\alpha}$  in diesen Bereichen IV, V findet man durch Differenzbildung im Differenzbildner 26 mit dem Analyseergebnis von FFT1 (Kreisfrequenz  $\omega_1$ , Bandbreite 0 bis  $\frac{2\pi}{T}$ ), welches die überlagerten Signale betrifft. Der unterste Bereich V von  $F_{b\alpha}$  ist gleich dem Ergebnis von FFT1, weil  $F_{a\alpha}$  nicht in diesen Bereich vordringt, wenn keine unzulässige Bereichsüberschreitung vorliegt. Dasselbe passiert im Differenzbildner 27, um die noch fehlenden Bereiche von  $F_{a\alpha}$  zu finden. Vom Aufwand her entsprechen FFT4 und FFT5 zusammengenommen einem Analysator der Art von FFT1. Die Ergebnisse von FFT2 und FFT3 können auch direkt von FFT1 erhalten werden. Somit sind also vom Gesamtaufwand her gesehen zwei FFT-Analysatoren nach Art des FFT1 hardwaremäßig notwendig. Die Aufteilung auf fünf FFT-Prozessoren mit dem Gesamtaufwand von eigentlich nur zwei FFT-Prozessoren wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit gewählt. Auch die Blöcke 7, 8, 9, 10 müssen nicht hardwaremäßig vorhanden sein; sie können durch Summenbildung der Analyseergebnisse beider Spektrographen ersetzt werden.

Im Block 28 wird ein Näherungswert für die Integralfunktionen

$$J_{b\alpha} = \int_{\omega_2}^{\left(\frac{2\pi}{T} - \Delta \omega_{K\alpha}\right)} |F_{b\alpha}|^2 d\omega_2 = \int_{\Delta \omega_{K\alpha}}^{\omega_1} |F_{b\alpha}|^2 d\omega_1 \quad (23)$$

$$J_{a\alpha} = \int_{\Delta\omega_{K\alpha}}^{\omega_2} |F_{a\alpha}|^2 d\omega_2 = \int_{\omega_1}^{\left(\frac{2\tau}{T} - \Delta\omega_{K\alpha}\right)} |F_{a\alpha}|^2 d\omega_1 \quad (24)$$

durch Bildung der Summen der Analyseergebnisse gebildet und anhand der Funktionen entschieden, ob spektrale Überlappung bezüglich der Frequenzlage  $\alpha$  vorliegt. Wenn dies nicht der Fall ist, wird das Analyseergebnis von FFT1 direkt verwendet, um die geringstmöglichen Fehler zu erhalten.

Anhand des Endwertes der Integrale ( $\omega_1 = \omega_2 = 2\pi/\tau$ ) kann auch entschieden werden, ob ein Spektrum gegenüber den anderen so schwach ist, daß mit unzulässig großen Fehlern gerechnet werden muß. Man könnte dies im Anzeigerät 34 anzeigen, indem z.B. die eingeblendete Kurve  $f$  bei zu schwachem Spektrum weggelassen wird.

In Mittelwertbildnern 29, 30 werden mehrere benachbarte Analysewerte im Sinne einer Mittelung zusammengefaßt, um zu weniger stark streuenden Werten zu kommen. Die Zahl der zu mittelnden Werte richtet sich nach der Frequenzauflösung, die z.B. 10 % der Frequenz beträgt.

Damit stehen die Einzelspektren trotz gegenseitiger Überlagerung getrennt zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Es bietet sich eine optische und akustische Anzeige an.

Die akustische Anzeige ist kein Problem, wenn in Block 28 festgestellt wurde, daß keine Überlappung der Spektren vorliegt. Dann wird in den oberen Teilen der Blöcke 32, 33 eine Trennung der Signale über (variable) Filter vorgenommen und das Band  $|F_{b\alpha}|$  durch Demodulation mit der Oszillatorfrequenz  $1/\tau$  invertiert; anschließend werden beide Richtungssignale getrennt wiedergegeben.

Im Falle überlagerter Spektren sind die Zeitfunktionen zu den Einzelspektren  $F_{a\alpha}$  und  $F_{b\beta}$  aus  $|F_{a\alpha}|^2$  bzw.  $|F_{b\beta}|^2$  nicht rekonstruierbar. Bekanntermaßen repräsentieren aber nur "grobe Ausschnitte" des Dopplerspektrums

5 gemäß der Frequenzauflösung des Puls-Doppler-Systems eine Aussage über die Strömung. Die Doppler-Zeitfunktionen ein und desselben Strömungsfadens, aus verschiedenen Frequenzlagen gewonnen, unterscheiden sich stark.

10 Es müßte also erlaubt sein, ein Rauschspektrum gemäß  $|F_{a\alpha}|^2$  bzw.  $|F_{b\beta}|^2$  neu zu generieren und akustisch als Ersatzfunktion wiederzugeben, ohne dadurch einen wesentlichen Informationsverlust bezüglich der Strömungsaussage hinnehmen zu müssen. Die Zeitfunktion hat  
15 dann mit dem ursprünglichen Dopplersignal nur noch ihre "spektrale Eigenschaft" gemeinsam.

Daher symbolisieren die unteren Teile der Blöcke 32, 33 also Signal-Synthetisierer, z.B. gemäß Figur 6, die umge-

20 kehrt wie ein Analysator arbeiten. Im vorstellungsmäßig einfachsten Fall besteht er aus einer Filterbank 35 bis 39 etc. (entsprechend den Analysebereichen) mit Stellgliedern 40 bis 44 etc. für die Verstärkung jedes Filterzweiges. An allen Eingängen liegt ein breitbandiges  
25 weißes Rauschen eines Rauschgenerators 45. Die Ausgänge werden alle mittels Summierschaltung 46 aufsummiert. Die Stellglieder werden gemäß dem Analyseergebnis eingestellt. Technisch elegantere (digitale) Aufführungsformen sind denkbar.

30

Die optische Anzeige der Spektren kann in bekannter Weise erfolgen (mittels Anzeigegerät 34), wie insbesondere Kathodenstrahlröhre. Die Analysefrequenzen werden über der Zeitachse dargestellt, wobei die spektrale Lei-  
35 stungsdichte bei jeder Frequenz in Helligkeitsmodulation gebracht wird. Zusätzlich kann eine Schätzfunktion für

die mittlere Frequenz  $\bar{f}$  und die Bandbreite  $\sigma_F$  einge-  
blendet werden. Die mittlere Frequenz erhält man aus  
dem Einzelspektrum nach der folgenden Formel, indem man  
die Integrale durch endliche Summen ersetzt.

5

$$\bar{\omega} = 2\pi \bar{f} = \frac{\lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau_M} \int_0^{\infty} |F(\omega)|^2 \omega d\omega}{\lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau_M} \int_0^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega} \quad (25)$$

10

Die Bandbreite  $\sigma_F$  berechnet man ebenfalls aus dem Spek-  
trum nach der Formel:

15

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{M_2}{M_0} - \bar{f}^2} \quad (26)$$

wobei  $M_0 = 0.$  Moment des Dopplerspektrums

$M_2 = 2.$  Moment des Dopplerspektrums

20

Die am Anzeigegerät 34 angedeuteten Kurven stellen  
 $\bar{f} \pm \sigma_F$  dar.

6 Figuren

24 Patentansprüche

Patentansprüche

1. Verfahren zur Strömungsmessung nach der Ultraschall-Puls-Doppler-Methode, bei dem Ultraschall-Sendeimpulse  
 5 in ein Untersuchungsobjekt in Richtung auf ein strömendes Medium abgestrahlt und die am strömenden Medium reflektierten Pulse als Echopulse empfangen werden und bei dem aus der Frequenzverwerfung zwischen ausgesendeten und empfangenen Ultraschallpulsen ein Dopplersi-  
 10 gnal als ein Maß für die Strömung des strömenden Mediums ermittelt wird, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß es die folgenden Verfahrensschritte aufweist:
- 15 a) es wird eine gleichzeitige Spektralanalyse der anfallenden Dopplersignale in wenigstens zwei unterschiedlichen, aber ähnlichen Frequenzlagen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) vorgenommen an solchen Stellen, an denen die Ausschnittsleistungen ( $M_{0\alpha}$ ,  $M_{0\beta}$  bzw.  
 20  $M_{ob1}$ ,  $M_{ob2}$ ,  $M_{oa}$ ) gleich sind,
- b) durch kompensatorische Überlagerung werden solche überlagerten Anteile der Dopplerspektren ( $M_{oa}$ ), die nicht angezeigt oder als überlagertes  
 25 Bestandteil separat angezeigt werden sollen, aus der Messung eliminiert,
- c) das Meßergebnis wird einem Anzeigegerät (32, 33; 34) zur optischen und/oder akustischen Anzeige  
 30 bzw. Aufzeichnung zugeleitet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Frequenzanalysen in den unterschiedlichen Frequenzlagen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) an solchen  
 35 Stellen vorgenommen werden, an denen sich Ausschnittsleistungen ergeben, die in den Mittenfrequenzen ( $\omega_1$

bzw.  $K \cdot \omega_1$ ) und in ihren Bandbreiten ( $\Delta \omega$  bzw.  $K \cdot \Delta \omega$ ) entsprechend einem Dehnungsfaktor  $K$  verändert sind und bei denen sich betreffend diesem Faktor  $K$  eine umgekehrt proportionale Beziehung zwischen den Leistungsdichten ( $A^2$  bzw.  $\frac{A^2}{K}$ ) der Leistungsspektren ergibt, mit  $K = \frac{\Omega_3}{\Omega_1}$ , wobei  $\Omega_1$  und  $\Omega_3$  verschiedene Sendekreisfrequenzen in den unterschiedlichen Frequenzlagen ( $\alpha$  und  $\beta$ ) darstellen.

- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , daß bei gleichzeitig  
erfaßtem Hin- und Rückfluß des strömenden Mediums ei-  
nes ( $|F_b|^2$ ) der überlagerten Spektren, resultierend  
15 aus der einen Flußrichtung, isoliert werden kann da-  
durch, daß beginnend von einem Randwert (Figur 3), bei  
dem wenigstens der Leistungsanteil des zu isolierenden  
Spektrums in der einen Frequenzlage ( $\alpha$ ) Null ist,  
nach der kompensatorischen Methode zuerst der Randwert  
( $M_{ob1}$ )<sub>I</sub> des zu isolierenden Spektrums aus der zweiten  
20 Frequenzlage ( $\beta$ ) gemessen wird und anschließend durch  
schrittweise Weiterführung der Analyse (Figur 2) mit  
sich ändernder Doppler-Frequenz weitere Differenzwerte  
des isolierten Spektrums an zwei unterschiedlichen  
Frequenzstellen ermittelt und sukzessive zu vorher er-  
25 mittelten Werten aufaddiert werden (Figur 4).

4. Verfahren nach Anspruch 3, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß eine Analyse, beginnend  
von einem Randwert um eine vorgebbare Zahl von Schrit-  
30 ten in der einen Richtung, von einer Gegenanalyse um  
eine entsprechend vorgebbare Zahl von Schritten, be-  
ginnend vom anderen Randwert in der Gegenrichtung, be-  
gleitet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , daß das Spektrum  $|F_a|^2$   
aus der Gegenflußrichtung isoliert werden kann dadurch,  
daß die Differenz zwischen dem überlagerten Spektrum  
5 (Ausgangssignal von FFT1 in Figur 5) und dem zuerst  
isolierten Spektrum  $|F_b|^2$  gemessen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , daß das Spektrum  $|F_a|^2$   
10 aus der Gegenflußrichtung isoliert werden kann dadurch,  
daß anstelle der zuvor ausgemessenen Seitenbänder die  
jeweils anderen Seitenbänder in beiden Frequenzlagen  
ausgewertet werden.
- 15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß vor  
Durchführung einer Analyse von den beiden überlagerten  
Spektren aus Hin- und Rückfluß in den beiden unter-  
schiedlichen Frequenzlagen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) die Gesamtleistung  
20 der überlagerten Spektren gebildet wird (in Leistungs-  
bildnern 7, 9 bzw. 8, 10 gemäß Figur 5) und daß die  
Information über die Gesamtleistungen dazu verwendet  
wird, die Pegel der Dopplersignale, die den beiden  
Frequenzlagen entstammen, einander anzugleichen.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß der Pegelangleich in  
der Weise geschieht, daß die ermittelten Leistungen  
der überlagerten Gesamtspektren durcheinander dividiert  
30 werden (im Dividierglied 11 gemäß Figur 5) und an-  
schließend das Doppler-Signal eines Kanales mit dem  
gebildeten Quotientensignal multipliziert wird (z.B.  
in den Multipliziergliedern 17, 18 gemäß Figur 5).
- 35 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die

Analyse mit einer absoluten Bandbreite ( $\Delta\omega$ ,  $K\Delta\omega$ )  
vorgenommen wird, die der Bandbreite entspricht, welche  
bei der niedrigsten interessierenden Doppler-Frequenz  
gemäß der Unschärferelation des Doppler-Systems In-  
5 formation über die entsprechend interessierende  
niedrigste Strömungsgeschwindigkeit trägt (entsprechend  
der Meßgenauigkeit für die Geschwindigkeit).

10 10. Verfahren nach Anspruch 9, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß für höhere interessieren-  
de Doppler-Frequenzen solch eine Anzahl von aus ent-  
sprechenden Doppler-Frequenzbereichen stammenden  
Analysewerten der absoluten Bandbreite ( $\Delta\omega$ ,  $K\Delta\omega$ )  
aufaddiert (in den Blöcken 29, 30 gemäß Figur 5) wer-  
15 den, die in der Summe die Bandbreite ergeben, welche  
bei der höheren interessierenden Doppler-Frequenz  
gemäß der Unschärferelation des Doppler-Systems In-  
formation über die entsprechend höhere Strömung trägt.

20 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß aus dem  
Analyseergebnis rückwirkend ein Doppler-Signal  
synthetisiert wird (in den Rauschsynthetisierern,  
die in den Blöcken 32, 33 der Figur 5 enthalten bzw.  
25 in Figur 6 detailliert dargestellt sind), dessen Zeit-  
funktion zwar nicht derjenigen entspricht, die im über-  
lagerten Spektrum enthalten ist, die aber die gleichen  
spektralen Eigenschaften (Leistungsspektrum) wie diese  
Zeitfunktion hat.

30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß in eine  
helligkeitsmodulierte Spektraldarstellung des Spektrums  
(Frequenz über der Zeit) als Kurvenzug eine mittlere  
35 Frequenz ( $\bar{f}$ ) des Analyseergebnisses gegebenenfalls  
zusammen mit Streuwerten einblendbar ist (Signalauf-  
zeichnung auf dem Aufzeichnungsgerät 34 gemäß Figur 5).



13. Gerät zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , daß zur Spektralanalyse der anfallenden Doppler-Signale in wenigstens zwei unterschiedlichen, aber ähnlichen Frequenzlagen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) wenigstens zwei Spektralanalysatoren (FFT1, FFT2 bzw. FFT1 bis FFT5) vorhanden sind, die Filterfunktionen ( $G_{\alpha}$ ,  $G_{\beta}$ ) sowie variable Mittenfrequenzen ( $\omega_1$ ,  $K \cdot \omega_1$ ) und Durchlaßbandbreiten ( $\Delta\omega$ ,  $K \cdot \Delta\omega$ ) derart aufweisen, daß aus den beiden unterschiedlichen Frequenzlagen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) vor oder nach Demodulation unter Berücksichtigung der Ähnlichkeitsgesetze gleichartige Summenleistungen bzw. Ausschnittsmomente herausgefiltert werden.
14. Gerät nach Anspruch 13, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t , daß die Summenleistungen bzw. Ausschnittsmomente an den Ausgängen der Spektralanalysatoren, nach vorzugsweise vorhergehendem Pegel- ausgleich, einem Subtrahierglied (D) zur Bildung der Differenz zugeleitet werden.
15. Gerät nach Anspruch 14, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t , daß das Differenzergebnis einem Anzeigegerät (32, 33; 34) zur optischen und/oder akustischen Anzeige bzw. Aufzeichnung zugeleitet wird.
16. Gerät nach einem der Ansprüche 13 bis 15, d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Spektralanalysatoren in der Weise ausgebildet sind, daß eine schrittweise Analyse, beginnend von einem Randwert, ermöglicht ist.
17. Gerät nach Anspruch 16, d a d u r c h g e - k e n n z i c h n e t , daß eine Aufaddierschaltung

(24, 25) vorhanden ist, die die Differenzwerte der Ausschnittsleistungen, die bei schrittweiser Weiterführung der Analyse erhalten werden, sukzessive zu zuvor ermittelten Werten aufaddiert, wodurch das Leistungsspektrum einer Flußrichtung erhalten wird.

18. Gerät nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Spektralanalysatoren auch in der Weise ausgebildet sind, daß eine schrittweise Analyse gleichzeitig aus zwei entgegengesetzten Frequenzrichtungen, beginnend von jeweils gegenüberliegenden Randwerten der Spektren, möglich ist.

19. Gerät nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß je einem Einseitenbandempfänger (5, 6) für zwei Frequenzlagen ( $\omega$ ,  $\beta$ ) wenigstens je ein Spektralanalysator (FFT2, FFT3 bzw. FFT4, FFT5) nachgeschaltet ist, denen Ausgleichsglieder (7, 9; 8, 10; 11; 17, 18) für den Pegelgleichgewicht zugeordnet sind.

20. Gerät nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Spektrums ( $|F_a|^2$ ) der Gegenkomponente ein Differenzbildner (26, 27) zur Bildung der Differenz zwischen dem Gesamtspektrum (von FFT1) und dem bereits isolierten Spektrum ( $|F_b|^2$ ) vorhanden ist.

21. Gerät nach den Ansprüchen 18 und 20, dadurch gekennzeichnet, daß bei schrittweiser Analyse aus zwei entgegengesetzten Frequenzrichtungen wenigstens zwei Differenzbildner (26, 27) vorhanden sind.

22. Gerät nach einem der Ansprüche 13 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß zur

Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 9 und 10 eine Addierschaltung (29, 30), vorzugsweise digitale Addierschaltung, vorhanden ist.

- 5 23. Gerät nach einem der Ansprüche 13 bis 22, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur  
Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 11 Rausch-  
synthetisierer (in den Blöcken 32, 33 der Figur 5,  
bzw. in der Ausbildung gemäß Fig. 6) vorhanden sind.
- 10 24. Gerät nach einem der Ansprüche 13 bis 23, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur  
Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 12 eine  
Rechenschaltung (31) zur Bildung der mittleren Fre-  
15 quenz ( $\bar{f}$ ) sowie gegebenenfalls der Strömung vor-  
handen ist.

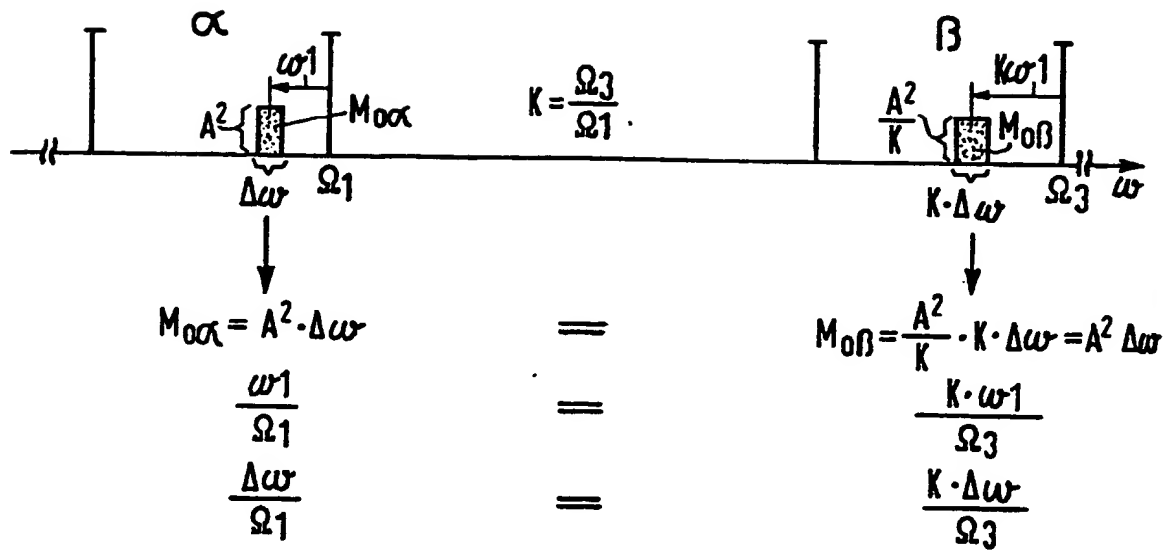


FIG 1

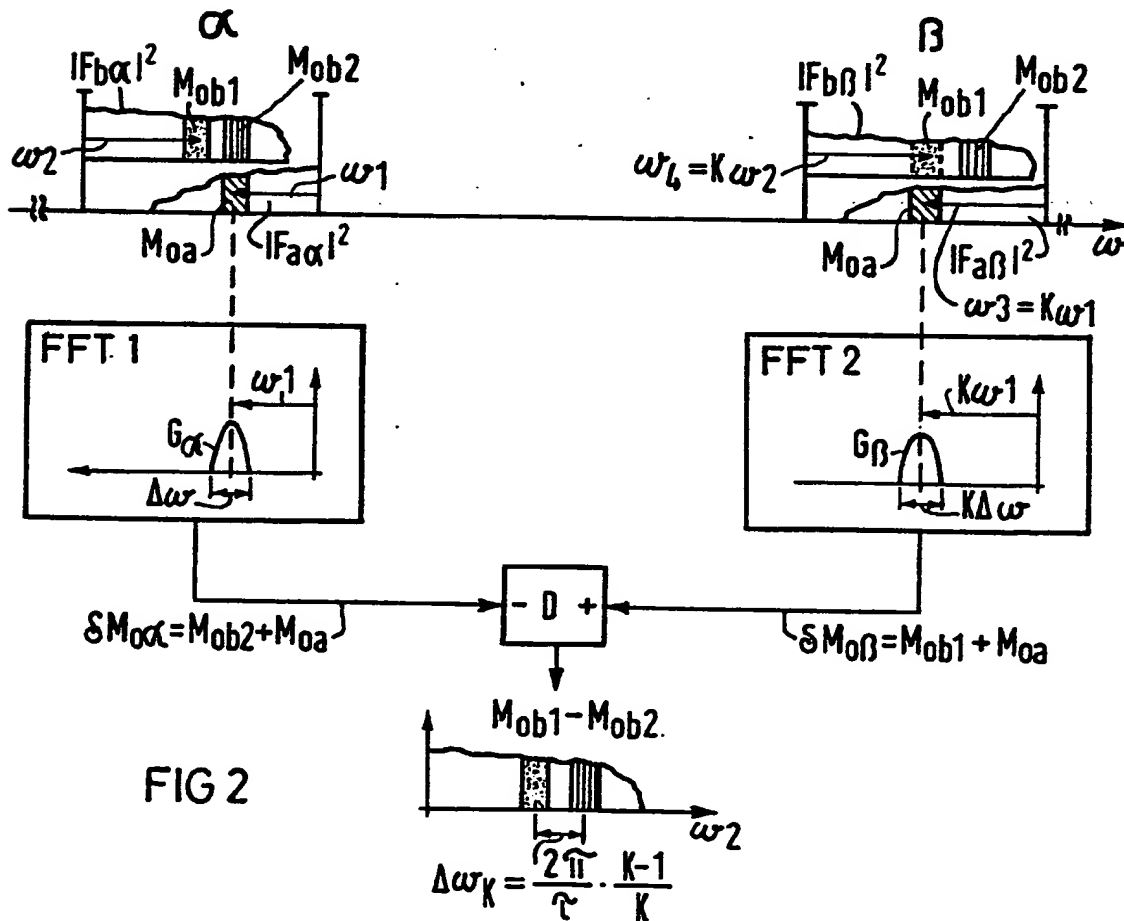


FIG 2

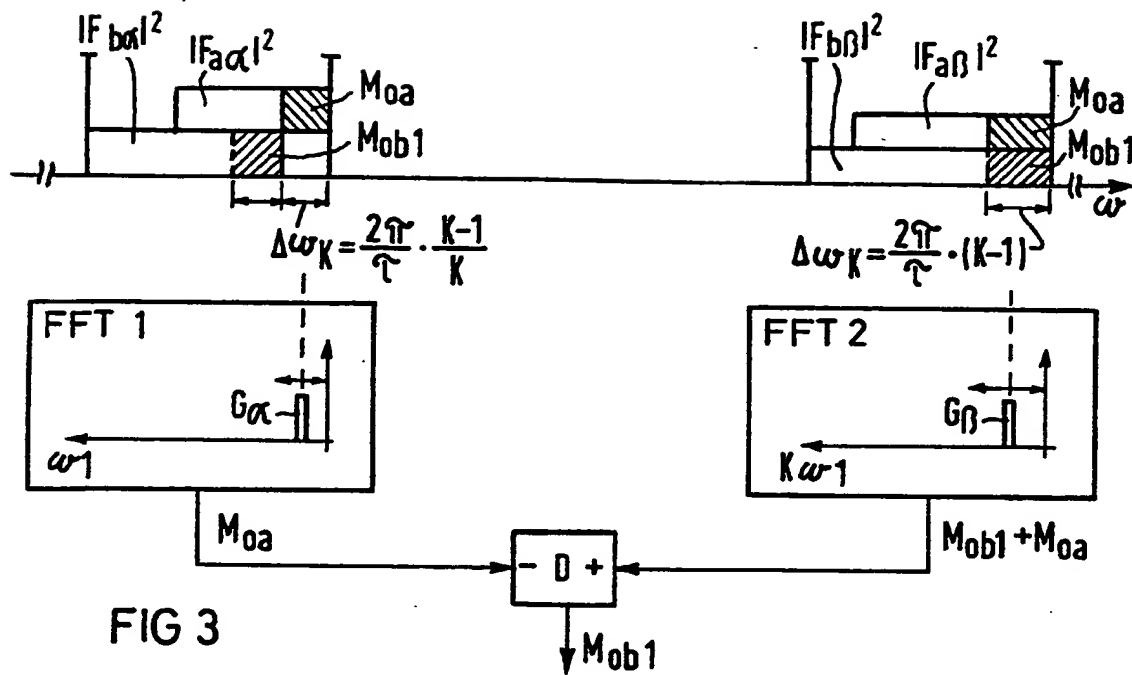


FIG 3

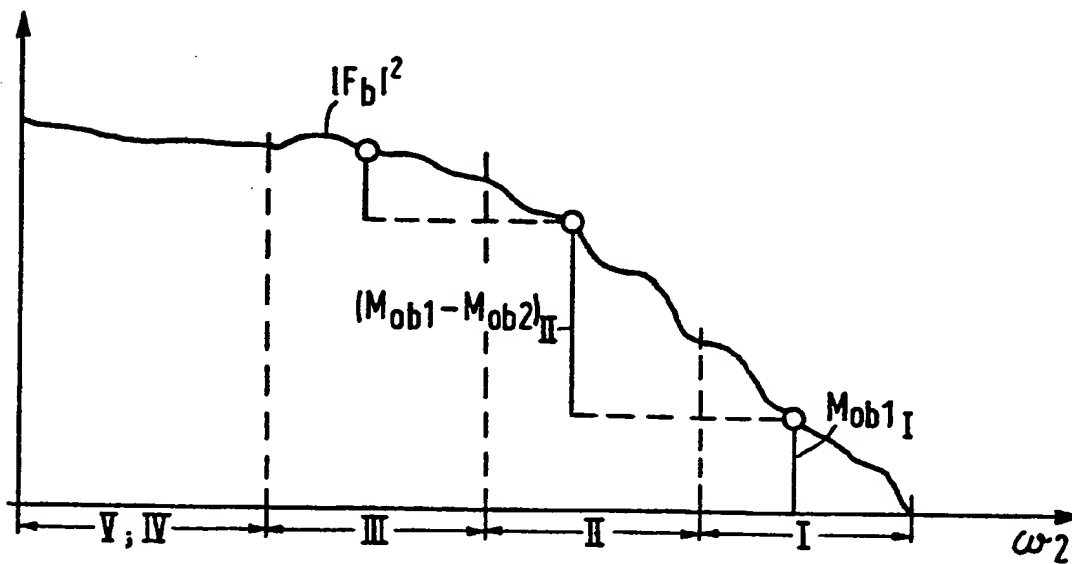
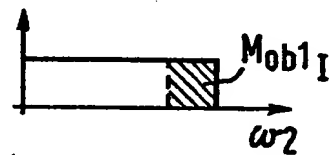


FIG 4

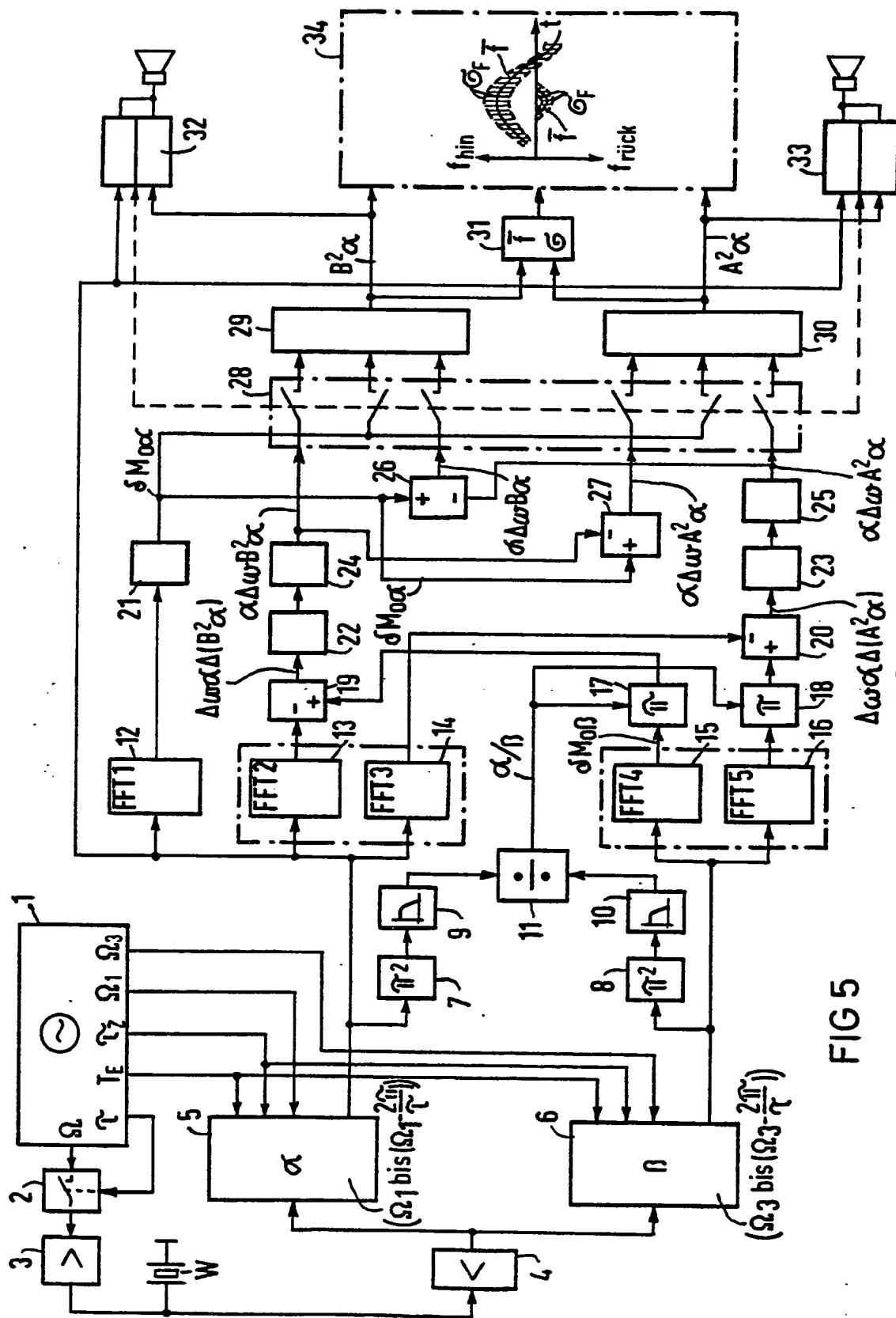


FIG 5

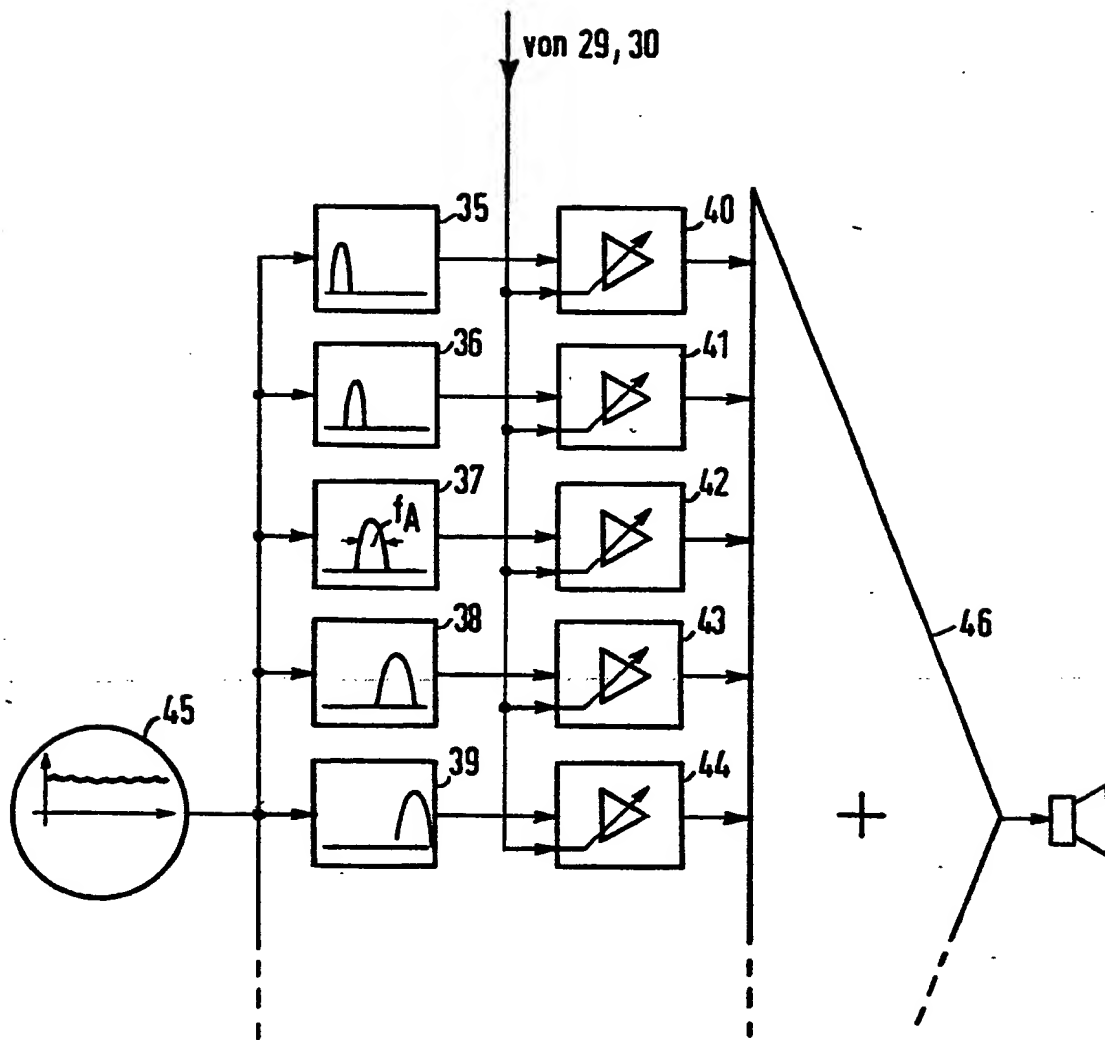


FIG 6



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0075195  
Nummer der Anmeldung

EP 82 10 8275

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 7)
A	US-A-3 498 290 (SHAW UND LAMBERT) ---	1	G 01 F 1/66 G 01 P 5/00
A	FR-A-2 226 663 (SIEMENS AG) -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 7)
			G 01 F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 28-12-1982	Prüfer NUIJTEN E.M.
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN</b> X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			